

PCT/JP2004/004517

30. 3. 2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

Rec'd PCT/PTO 07 MAR 2005

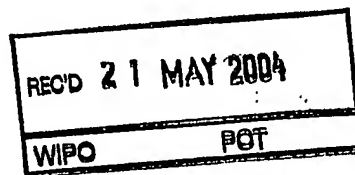
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 1 月 2 8 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 4 0 0 1 5 6
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 4 0 0 1 5 6]

出 願 人 日 本 電 信 電 話 株 式 有 限 公 司
Applicant(s):

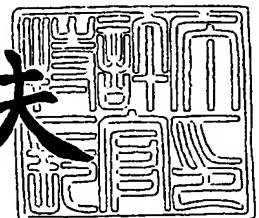


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 4 月 3 0 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 3 7 4 7 5

【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTH156214
【提出日】 平成15年11月28日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01S 5/12
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 布谷 伸浩
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 柴田 泰夫
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 東盛 裕一
【特許出願人】
 【識別番号】 000004226
 【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100066980
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 森 哲也
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 001638
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 0309076

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

第 1 光導波路と、

前記第 1 光導波路に光学的に結合され、前記第 1 光導波路と屈折率の異なる第 2 光導波路と、

前記第 1 光導波路の光路を横切るように前記第 1 光導波路と前記第 2 光導波路との界面から所定間隔だけ隔てて配置された溝部とを備え、

前記界面からの間隔と前記溝部の幅は、前記第 1 光導波路と前記第 2 光導波路との境界での反射が弱められるように設定されていることを特徴とする集積光導波路。

【請求項 2】

半導体基板上に形成された第 1 光導波路と、

前記半導体基板上に形成され、前記第 1 光導波路と屈折率の異なる第 2 光導波路と、

前記第 1 光導波路と前記第 2 光導波路との境界に配置され、前記第 1 光導波路から溝部を隔てて導波方向と垂直になるように前記半導体基板上に形成された半導体板とを備え、

前記溝部の幅および前記半導体板の厚さは、前記第 1 光導波路と前記溝部との界面で反射した光が、前記溝部と前記半導体板との界面で反射した光および前記半導体板と前記第 2 光導波路との界面で反射した光によって弱められるように設定されていることを特徴とする集積光導波路。

【請求項 3】

前記溝部には、前記第 1 光導波路の屈折率とは異なる屈折率を有する物質が充填され、前記第 1 光導波路および前記半導体板の屈折率が等しく、かつ前記第 2 光導波路および前記溝部に充填された物質の屈折率が等しく、前記溝部の屈折率および幅をそれぞれ N_1 、 d_1 、前記半導体板の屈折率および厚さをそれぞれ N_2 、 d_2 とし、導波光の波長を λ とすると、

$$N_1 d_1 > \lambda / 2n, N_2 d_2 > \lambda / 2m, N_1 d_1 + N_2 d_2 < \lambda / 4 (2l + 1)$$

(l 、 m 、 n は $n + m = 1$ の関係を満たす整数)

もしくは、

$$N_1 d_1 < \lambda / 2n, N_2 d_2 < \lambda / 2m, N_1 d_1 + N_2 d_2 > \lambda / 4 (2l + 1)$$

(l 、 m 、 n は $n + m = 1 - 1$ の関係を満たす整数)

の関係を満たすことを特徴とする請求項 2 記載の集積光導波路。

【請求項 4】

前記溝部には、前記第 1 光導波路の屈折率とは異なる屈折率を有する物質が充填され、前記溝部の屈折率および幅をそれぞれ N_1 、 d_1 、前記半導体板の屈折率および厚さをそれぞれ N_2 、 d_2 、導波光の波長を λ とすると、

$$\begin{aligned} & N_1 d_1 + N_2 d_2 \\ & = \pm \lambda / (2\pi) \{ \cos^{-1} \{ \pm (N_1^2 + N_2^2) / (N_1 + N_2)^2 \} + 2m\pi \} \end{aligned}$$

$$N_1 d_1 - N_2 d_2 = \lambda / 2n$$

(m 、 n は整数)

の関係を満たすことを特徴とする請求項 2 記載の集積光導波路。

【請求項 5】

半導体基板上に形成された第 1 光導波路と、

前記半導体基板上に形成され、前記第 1 光導波路と屈折率の異なる第 2 光導波路と、

前記第 1 光導波路と前記第 2 光導波路との境界に配置され、前記第 1 光導波路から第 1 溝部を隔てて導波方向と垂直になるように前記半導体基板上に形成された第 1 半導体板と

、前記第 1 半導体板から第 2 溝部を隔てて導波方向と垂直になるように前記半導体基板上に形成された第 2 半導体板とを備え、

前記第 1 溝部および前記第 2 溝部の幅ならびに前記第 1 半導体基板および前記第 2 半導体基板の厚さは、前記第 1 光導波路と前記第 1 溝部との界面で反射した光が、前記第 1 溝部と前記第 1 半導体板との界面で反射した光、前記第 1 半導体板と前記第 2 溝部と界面で

反射した光、前記第2溝部と前記第2半導体板との界面で反射した光および前記第2半導体板と前記第2光導波路との界面で反射した光によって弱められるように設定されていることを特徴とする集積光導波路。

【請求項6】

前記第1半導体板と前記第2半導体板との厚さが互いに異なるか、または前記第1溝部と前記第2溝部との幅が互いに異なることを特徴とする請求項5載の集積光導波路。

【請求項7】

前記第1溝部および前記第2溝部には、前記第1光導波路の屈折率とは異なる屈折率を有する物質が充填され、前記第1光導波路、前記第1半導体板および前記第2半導体板の屈折率が等しく、かつ前記第2光導波路、前記第1溝部および前記第2溝部の屈折率が等しく、前記第1溝部の屈折率および幅をそれぞれ N_1 、 d_1 とし、前記第1半導体板の屈折率および厚さをそれぞれ N_2 、 d_2 、導波光の波長を λ とすると、

$$N_1 d_1 > \lambda / 2n, N_2 d_2 > \lambda / 2m, N_1 d_1 + N_2 d_2 < \lambda / 4 (2l + 1)$$

(l 、 m 、 n は $n + m = 1$ の関係を満たす整数)

もしくは、

$$N_1 d_1 < \lambda / 2n, N_2 d_2 < \lambda / 2m, N_1 d_1 + N_2 d_2 > \lambda / 4 (2l + 1)$$

(l 、 m 、 n は $n + m = 1 - 1$ の関係を満たす整数)

の関係を満たすことを特徴とする請求項5または6記載の集積光導波路。

【請求項8】

前記第1溝部および前記第2溝部には、前記第1光導波路の屈折率とは異なる屈折率を有する物質が充填され、前記第1光導波路、前記第1半導体板および前記第2半導体板の屈折率が等しく、かつ前記第2光導波路、前記第1溝部および前記第2溝部の屈折率が等しく、前記第2半導体板の屈折率および厚さをそれぞれ N_2 、 d_4 とし、導波光の波長を λ とすると、

$$\lambda / 2n - \lambda / 16 < N_2 d_4 < \lambda / 2n + \lambda / 16$$

(n は整数)

の関係を満たすことを特徴とする請求項5～7のいずれか1項記載の集積光導波路。

【請求項9】

前記第1溝部および前記第2溝部には、前記第1光導波路の屈折率とは異なる屈折率を有する物質が充填され、前記第1光導波路、前記第1半導体板および前記第2半導体板の屈折率が等しく、かつ前記第2光導波路、前記第1溝部および前記第2溝部の屈折率が等しく、前記第2溝部の屈折率および幅をそれぞれ N_1 、 d_3 とし、導波光の波長を λ とすると、

$$\lambda / 2 (n + 1 / 4) < N_1 d_3 < \lambda / 2 (n + 1)$$

(n は整数)

の関係を満たすことを特徴とする請求項5～8のいずれか1項記載の集積光導波路。

【請求項10】

前記第1溝部および前記第2溝部には、前記第1光導波路の屈折率とは異なる屈折率を有する物質が充填され、前記第2半導体板と同じ厚みの半導体板が、前記第2溝部と同じ幅の溝部をそれぞれ隔てて導波方向に沿って繰り返し配置されていることを特徴とする請求項5～9のいずれか1項記載の集積光導波路。

【請求項11】

前記第2光導波路は負の屈折率温度微分係数を有する材料により構成されていることを特徴とする請求項2～10のいずれか1項記載の集積光導波路。

【請求項12】

請求項2～11のいずれか1項記載の集積光導波路が2個互いに対向配置され、前記第2光導波路の端面同士が接続されていることを特徴とする集積光導波路。

【請求項13】

請求項12記載の集積光導波路が複数回繰り返し縦列接続されていることを特徴とする集積光導波路。

【請求項 14】

前記第 1 光導波路は、
前記半導体基板上に形成されたコア層と、
前記コア層上に積層され、前記半導体基板と導電型の異なる上部クラッド層と、
前記上部クラッド層上に形成された第 1 電極と、
前記半導体基板の裏面に形成された第 2 電極とを備えることを特徴とする請求項 2 ～ 13 のいずれか 1 項記載の集積光導波路。

【書類名】明細書

【発明の名称】集積光導波路

【技術分野】

【0001】

本発明は集積光導波路に関し、特に、半導体光導波路とその半導体光導波路とは屈折率の異なる材料からなる光導波路との集積構造およびこれを用いた光素子に適用して好適なものである。

【背景技術】

【0002】

半導体光導波路と半導体とは異なる特性を有する材料からなる光導波路を接続することにより、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路が得られている。

例えば、半導体の屈折率は温度上昇により増大する、すなわち正の温度依存性を有するが、これとは逆に温度上昇により屈折率が低下する、すなわち負の温度依存性を有する材料からなる光導波路を半導体光導波路に縦続接続する方法がある。

【0003】

これにより、全体として、屈折率と導波路長の積である光学長が温度に依存しない光導波路を得ることができ、非特許文献1に開示されているように、半導体レーザの外部に負の屈折率温度依存性を有する材料からなる共振器を構成することで、発振波長が温度の依存しない温度無依存レーザを実現することができる。

すなわち、半導体媒質の実効屈折率 n_D の増大により、レーザ共振器の光学長 $n_D L_D$ は温度上昇に伴って増大する。ここで、光学長 $n_R L_R$ が温度上昇に伴って低下する外部共振器にレーザダイオードが結合されているものとする、共振器の全体の光学長 $n_D L_D + n_R L_R$ が温度に対して一定となる条件は、以下の(1)式で与えることができる。

$$\frac{\partial}{\partial T} (n_D L_D + n_R L_R) = L_D \frac{\partial n_D}{\partial T} + n_D \frac{\partial L_D}{\partial T} + L_R \frac{\partial n_R}{\partial T} + n_R \frac{\partial L_R}{\partial T} = 0 \quad \dots (1)$$

ただし、 $\frac{\partial n_D}{\partial T}$ および $\frac{\partial L_D}{\partial T}$ は通常正であるため、 $\frac{\partial n_R}{\partial T}$ および $\frac{\partial L_R}{\partial T}$ は負となる。

【0004】

ここで、半導体光導波路と半導体以外の材料からなる導波路を接合する場合、その界面において2つの導波路の屈折率の違いから反射が生じる。第1光導波路の屈折率を N_1 、第2光導波路の屈折率を N_2 とし、簡単のため平面波で考えると、反射率 R は以下の(2)式で与えることができる。

$$R = \left(\frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right)^2 \quad \dots (2)$$

一方、半導体や石英導波路を伝播した光を外部に放射する場合、導波路と外部との屈折率が異なるために反射が生じる。このため、例えば、半導体光導波路中を伝播した光が半導体レーザの端面から空気中に放射される場合、非特許文献2に開示されているように、ある特定の厚さの蒸着膜を半導体端面に成膜することにより、反射を防止することが行われている。

【非特許文献1】 K. Tada et al. "Temperature compensated coupled cavity diode lasers", Optical and Quantum Electronics, vol. 16, pp. 463-469, 1984.

【非特許文献2】 草川徹著 「レンズ光学」 東海大学出版会 pp. 273-288

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、半導体光導波路とその半導体光導波路とは屈折率の異なる材料からなる光導波路とを結合する場合、屈折率の差に応じて接合界面での反射が起こるため、導波路設計の自由度が制限される。

また、特許文献2に開示されているように、空気中への放射で用いられる反射防止膜をこれらの界面に形成する方法も考えられるが、他の材料からなる導波路を半導体基板上に集積する場合、このような反射防止膜を精度よく形成することは困難である。

そこで、本発明の目的は、光導波路の集積化に対応しつつ、異なる屈折率の材料が接合された界面における反射を低減することが可能な集積光導波路を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上述した課題を解決するために、請求項1記載の集積光導波路によれば、第1光導波路と、前記第1光導波路に光学的に結合され、前記第1光導波路と屈折率の異なる第2光導波路と、前記第1光導波路の光路を横切るように前記第1光導波路と前記第2光導波路との界面から所定間隔だけ隔てて配置された溝部とを備え、前記界面からの間隔と前記溝部の幅は、前記第1光導波路と前記第2光導波路との境界での反射が弱められるように設定されていることを特徴とする。

【0007】

これにより、第1光導波路の光路を横切るように溝を形成することで、第1光導波路と第2光導波路の境界における反射波の位相を調整することができ、第1光導波路と第2光導波路の境界における反射波を互いに打ち消し合わせることができる。このため、第1光導波路と第2光導波路との屈折率が互いに異なる場合においても、第1光導波路と第2光導波路との境界での反射を弱めることができる。この結果、第1光導波路と第2光導波路との界面に反射防止膜を形成することなく、第1光導波路と第2光導波路との境界における損失を低減させることができ、光導波路の集積化に対応しつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【0008】

また、請求項2記載の集積光導波路によれば、半導体基板上に形成された第1光導波路と、前記半導体基板上に形成され、前記第1光導波路と屈折率の異なる第2光導波路と、前記第1光導波路と前記第2光導波路との境界に配置され、前記第1光導波路から溝部を隔てて導波方向と垂直になるように前記半導体基板上に形成された半導体板とを備え、前記溝部の幅および前記半導体板の厚さは、前記第1光導波路と前記溝部との界面で反射した光が、前記溝部と前記半導体板との界面で反射した光および前記半導体板と前記第2光導波路との界面で反射した光によって弱められるように設定されていることを特徴とする。

【0009】

これにより、溝部と半導体板との界面で反射した光および半導体板と第2光導波路との界面で反射した光によって、第1光導波路と溝部との界面で反射した光を弱めることができる。このため、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板上に集積した場合においても、これらの光導波路間の反射を低減することが可能となり、導波路設計の自由度を維持しつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【0010】

また、請求項3記載の集積光導波路によれば、前記溝部には、前記第1光導波路の屈折率とは異なる屈折率を有する物質が充填され、前記第1光導波路および前記半導体板の屈折率が等しく、かつ前記第2光導波路および前記溝部に充填された物質の屈折率が等しく、前記溝部の屈折率および幅をそれぞれ N_1 、 d_1 、前記半導体板の屈折率および厚さをそれぞれ N_2 、 d_2 とし、導波光の波長を λ とすると、

$$N_1 d_1 > \lambda / 2n, N_2 d_2 > \lambda / 2m, N_1 d_1 + N_2 d_2 < \lambda / 4 (2l + 1)$$

(l 、 m 、 n は $n + m = 1$ の関係を満たす整数)

もしくは、

$$N_1 d_1 < \lambda / 2n, N_2 d_2 < \lambda / 2m, N_1 d_1 + N_2 d_2 > \lambda / 4 (2l + 1)$$

(l 、 m 、 n は $n + m = 1 - 1$ の関係を満たす整数)

の関係を満たすことを特徴とする。

【0011】

これにより、溝部の屈折率および幅ならびに半導体板の屈折率および厚さを調整することで、第1光導波路と溝部との界面で反射した光を弱めることができる。このため、半導体基板のエッチング加工を行うことで、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板上に集積した際の光導波路間の反射を低減することが可能となり、光導波路の集積化に対応しつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【0012】

また、請求項4記載の集積光導波路によれば、前記溝部には、前記第1光導波路の屈折率とは異なる屈折率を有する物質が充填され、前記溝部の屈折率および幅をそれぞれ N_1 、 d_1 、前記半導体板の屈折率および厚さをそれぞれ N_2 、 d_2 、導波光の波長を λ とすると、

$$\begin{aligned} N_1 d_1 + N_2 d_2 \\ = \pm \lambda / (2\pi) [\cos^{-1} \{ \pm (N_1^2 + N_2^2) / (N_1 + N_2)^2 \} + 2m\pi] \\ N_1 d_1 - N_2 d_2 = \lambda / 2n \\ (m, n \text{ は整数}) \end{aligned}$$

の関係を満たすことを特徴とする。

これにより、溝部の屈折率および幅ならびに半導体板の屈折率および厚さを調整することで、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板上に集積した際の光導波路間の反射をなくすることが可能となり、光導波路の集積化に対応しつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【0013】

また、請求項5記載の集積光導波路によれば、半導体基板上に形成された第1光導波路と、前記半導体基板上に形成され、前記第1光導波路と屈折率の異なる第2光導波路と、前記第1光導波路と前記第2光導波路との境界に配置され、前記第1光導波路から第1溝部を隔てて導波方向と垂直になるように前記半導体基板上に形成された第1半導体板と、前記第1半導体板から第2溝部を隔てて導波方向と垂直になるように前記半導体基板上に形成された第2半導体板とを備え、前記第1溝部および前記第2溝部の幅ならびに前記第1半導体基板および前記第2半導体基板の厚さは、前記第1光導波路と前記第1溝部との界面で反射した光が、前記第1溝部と前記第1半導体板との界面で反射した光、前記第1半導体板と前記第2溝部と界面で反射した光、前記第2溝部と前記第2半導体板との界面で反射した光および前記第2半導体板と前記第2光導波路との界面で反射した光によって弱められるように設定されていることを特徴とする。

【0014】

これにより、第1溝部と第1半導体板との界面で反射した光、第1半導体板と第2溝部と界面で反射した光、第2溝部と第2半導体板との界面で反射した光および第2半導体板と第2光導波路との界面で反射した光によって、第1光導波路と第1溝部との界面で反射した光を弱めることができる。このため、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板上に集積した場合においても、これらの光導波路間の反射を低減することが可能となり、導波路設計の自由度を維持しつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【0015】

また、請求項6記載の集積光導波路によれば、前記第1半導体板と前記第2半導体板との厚さが互いに異なるか、または前記第1溝部と前記第2溝部との幅が互いに異なることを特徴とする。

これにより、溝部の幅および半導体板の厚さを調整することで、第1光導波路と第2光導波路との境界での反射を低減できる波長範囲を拡大することが可能となり、波長多重光ネットワークなどへの適用を可能としつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【0016】

また、請求項7記載の集積光導波路によれば、前記第1溝部および前記第2溝部には、前記第1光導波路の屈折率とは異なる屈折率を有する物質が充填され、前記第1光導波路、前記第1半導体板および前記第2半導体板の屈折率が等しく、かつ前記第2光導波路、前記第1溝部および前記第2溝部の屈折率が等しく、前記第1溝部の屈折率および幅をそれぞれ N_1 、 d_1 とし、前記第1半導体板の屈折率および厚さをそれぞれ N_2 、 d_2 、導波光の波長を λ とすると、

$$N_1 d_1 > \lambda / 2n, N_2 d_2 > \lambda / 2m, N_1 d_1 + N_2 d_2 < \lambda / 4 (2l+1)$$

(l 、 m 、 n は $n+m=1$ の関係を満たす整数)

もしくは、

$$N_1 d_1 < \lambda / 2n, N_2 d_2 < \lambda / 2m, N_1 d_1 + N_2 d_2 > \lambda / 4 (2l+1)$$

(l 、 m 、 n は $n+m=1-l$ の関係を満たす整数)

の関係を満たすことを特徴とする。

【0017】

これにより、溝部の屈折率および幅ならびに半導体板の屈折率および厚さを調整することで、第1光導波路と第1溝部との界面で反射した光を弱めることができる。このため、半導体基板のエッチング加工を行うことで、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板上に集積した際の光導波路間の反射を低減することが可能となり、光導波路の集積化に対応しつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となるとともに、第1光導波路と第2光導波路との境界での反射を低減できる波長範囲を拡大することを可能として、波長多重光ネットワークなどへの適用を容易化することができる。

【0018】

また、請求項8記載の集積光導波路によれば、前記第1溝部および前記第2溝部には、前記第1光導波路の屈折率とは異なる屈折率を有する物質が充填され、前記第1光導波路、前記第1半導体板および前記第2半導体板の屈折率が等しく、かつ前記第2光導波路、前記第1溝部および前記第2溝部の屈折率が等しく、前記第2半導体板の屈折率および厚さをそれぞれ N_2 、 d_4 とし、導波光の波長を λ とすると、

$$\lambda / 2n - \lambda / 16 < N_2 d_4 < \lambda / 2n + \lambda / 16$$

(n は整数)

の関係を満たすことを特徴とする。

【0019】

これにより、第1半導体板から第2溝部を隔てて第2半導体板を設けた場合においても、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板上に集積した際の光導波路間の反射を低減することが可能となる。

また、請求項9記載の集積光導波路によれば、前記第1溝部および前記第2溝部には、前記第1光導波路の屈折率とは異なる屈折率を有する物質が充填され、前記第1光導波路、前記第1半導体板および前記第2半導体板の屈折率が等しく、かつ前記第2光導波路、前記第1溝部および前記第2溝部の屈折率が等しく、前記第2溝部の屈折率および幅をそれぞれ N_1 、 d_3 とし、導波光の波長を λ とすると、

$$\lambda / 2 (n+1/4) < N_1 d_3 < \lambda / 2 (n+1)$$

(n は整数)

の関係を満たすことを特徴とする。

【0020】

これにより、第1半導体板から第2溝部を隔てて第2半導体板を設けた場合においても、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板上に集積した際の光導波路間の反射を低減することが可能となり、第1光導波路と第2光導波路との境界での反射を低減できる波長範囲を拡大することが可能となる。

また、請求項10記載の集積光導波路によれば、前記第1溝部および前記第2溝部には、前記第1光導波路の屈折率とは異なる屈折率を有する物質が充填され、前記第2半導体板と同じ厚みの半導体板が、前記第2溝部と同じ幅の溝部をそれぞれ隔てて導波方向に沿

って繰り返し配置されていることを特徴とする。

【0021】

これにより、半導体板を導波方向に沿って繰り返し配置することで、反射を低減できる波長帯を急峻化することが可能となる。このため、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板上に集積した場合においても、これらの光導波路間にける特定の波長の反射を効率よく低減することが可能となる。

また、請求項11記載の集積光導波路によれば、前記第2光導波路は負の屈折率温度微分係数を有する材料により構成されていることを特徴とする。

これにより、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板上に集積した際の光導波路間の反射を低減することを可能としつつ、光導波路全体の光学長の温度変化を抑制することが可能となる。

【0022】

また、請求項12記載の集積光導波路によれば、請求項2～11のいずれか1項記載の集積光導波路が2個互いに対向配置され、前記第2光導波路の端面同士が接続されていることを特徴とする。

これにより、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板上に集積した際の光導波路間の反射を低減することを可能としつつ、半導体とは異なる屈折率を有する材料からなる光導波路を半導体光導波路の途中に集積することができる。このため、導波路設計の自由度を向上させることを可能としつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【0023】

また、請求項13記載の集積光導波路によれば、請求項12記載の集積光導波路が複数回繰り返し縦列接続されていることを特徴とする。

これにより、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板上に集積した際の光導波路間の反射を低減することを可能としつつ、半導体とは異なる屈折率を有する材料からなる光導波路を半導体光導波路の途中に複数個集積することができる。このため、導波路設計の自由度を向上させることを可能としつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【0024】

また、請求項14記載の集積光導波路によれば、前記第1光導波路は、前記半導体基板上に形成されたコア層と、前記コア層上に積層され、前記半導体基板と導電型の異なる上部クラッド層と、前記上部クラッド層上に形成された第1電極と、前記半導体基板の裏面に形成された第2電極とを備えることを特徴とする。

これにより、光導波路間の反射を低減することを可能としつつ、半導体レーザを光導波路に集積することが可能となり、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光素子を実現することが可能となる。

【発明の効果】

【0025】

以上説明したように、本発明によれば、第1光導波路と第2光導波路との界面に反射防止膜を形成することなく、第1光導波路と第2光導波路との境界における反射を低減させることができ、光導波路の集積化に対応しつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、本発明の実施形態に係る集積光導波路について図面を参照しながら説明する。

図1は、本発明の第1実施形態に係る集積光導波路の結合部の概略構成を示す斜視図である。なお、この第1実施形態は、溝部A21および半導体板B21を1対設けることにより、光導波路領域R21と光導波路領域R22との境界における反射を低減するようにしたものである。

図1において、半導体基板201には、光導波路領域R21、溝部A21、半導体板B

21 および光導波路領域 R22 が光導波方向に沿って順次形成されている。ここで、光導波路領域 R21 と光導波路領域 R22 との屈折率は互いに異なるように設定することができ、例えば、光導波路領域 R21 は半導体材料で構成することができ、光導波路領域 R22 は半導体以外の材料で構成することができる。

【0027】

また、溝部 A21 には、半導体以外の材料を充填することができ、例えば、光導波路領域 R22 の材料と同一の材料を充填することができる。また、半導体板 B21 は、光導波路領域 R21 の構造と同一となるように構成することができる。また、溝部 A21 および半導体板 B21 は光導波方向を横切るように配置され、好ましくは、溝部 A21 および半導体板 B21 は光導波方向に対して垂直に配置することができる。

【0028】

そして、溝部 A21 の幅および半導体板 B21 の厚さは、光導波路領域 R21 と溝部 A21 との界面で反射した光が、溝部 A21 と半導体板 B21 との界面で反射した光および半導体板 B21 と光導波路領域 R22 との界面で反射した光によって弱められるように設定することができる。

これにより、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板 201 上に集積した場合においても、これらの光導波路間の反射を低減することが可能となり、導波路設計の自由度を維持しつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【0029】

また、光導波路領域 R21 が形成された半導体基板 201 のエッチング加工を行うことにより、溝部 A21 および半導体板 B21 を半導体基板 201 に形成することができる。このため、光導波路領域 R21 と光導波路領域 R22 との界面に反射防止膜を形成することなく、光導波路領域 R21 と光導波路領域 R22 との境界における反射を低減させることができ、光導波路の集積化に容易に対応することが可能となる。

さらに、半導体基板 201 に半導体板 B21 を1枚だけ設けることで、光導波路領域 R21 と光導波路領域 R22 との境界における反射を低減させることができ、分布反射器のように多数枚の半導体板を配置する必要をなくして、集積光導波路の作製を容易化することができる。

【0030】

図2は、図1の光導波方向に沿った Q1-Q1' 線で切断した断面図である。

図2において、半導体基板 201 上には、コア層 202a、202b が積層され、コア層 202a、202b 上には、上部クラッド層 203a、203b がそれぞれ積層されている。なお、半導体基板 201 および上部クラッド層 203a、203b としては、例えば、InP、コア層 202a、202b としては、例えば、発光波長 $1.3\ \mu\text{m}$ の GaInAsP を用いることができる。

【0031】

また、コア層 202a、202b および上部クラッド層 203a、203b を半導体基板 201 上に順次積層する場合、例えば、MBE (molecular beam epitaxy)、MOCVD (metal organic chemical vapor deposition)、あるいはALCVD (atomic layer chemical vapor deposition) などのエピタキシャル成長を用いることができる。

【0032】

そして、コア層 202a、202b および上部クラッド層 203a、203b が順次積層された半導体基板 201 をエッチング加工することにより、光導波方向に対して垂直に配置された幅 d_1 の溝 204a を形成するとともに、溝 204a から所定間隔 d_2 だけ隔てて配置された段差 204b を半導体基板 201 上に形成する。

そして、溝 204a に充填材料 205a を埋め込むとともに、段差 204b に光導波路材料 205b を埋め込むことにより、光導波路領域 R21 との界面に配置された溝部 A2

1を形成することが可能となるとともに、溝部A21から厚さ d_2 の半導体板B21を隔てて配置された光導波路領域R22を形成することができる。

【0033】

これにより、光導波路領域R21と光導波路領域R22との境界における反射波の位相を調整することができ、光導波路領域R21と光導波路領域R22の境界における反射波を互いに打ち消し合わせることができる。

このため、光導波路領域R21と光導波路領域R22との境界における反射を低減させることを可能としつつ、屈折率が互いに異なる光導波路領域R21と光導波路領域R22とを同一半導体基板201上に集積することが可能なり、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【0034】

ここで、充填材料205aおよび光導波路材料205bとしては、半導体とは異なる屈折率を持つ材料を用いることができ、例えば、BCB (Benzocyclobutene) を挙げることができる。この場合、光導波路領域R21および半導体板B21の等価屈折率は3.12、光導波路領域R22および溝部A21の等価屈折率は1.54とすることができる。なお、等価屈折率とは、光導波路を伝播する光に対して定義される屈折率である。従って、光導波路を伝播する光を取り扱う場合には、これまでの屈折率を等価屈折率に置き換えればよい。

【0035】

なお、溝部A21および光導波路領域R22における導波損失は、これらの伝播距離が短い場合は無視できる程小さいが、溝部A21および光導波路領域R22における伝播距離が長くなると、導波損失が無視できなくなる。

このため、図1のQ1-Q1'線で切断した図2の断面構造を図3の断面構造に置き換えるようにしてもよい。

【0036】

図3は、本発明の第2実施形態に係る集積光導波路の結合部の概略構成を光導波方向に沿って示す断面図である。なお、この第2実施形態は、図2の溝部A21および光導波路領域R22にコア層を設けるようにしたものである。

図3において、半導体基板301には、光導波路領域R31、溝部A31、半導体板B31および光導波路領域R32が光導波方向に沿って順次形成されている。

すなわち、半導体基板301上には、コア層302a、302bが積層され、コア層302a、302b上には、上部クラッド層303a、303bがそれぞれ積層されている。なお、半導体基板301および上部クラッド層303a、303bとしては、例えば、InP、コア層302a、302bとしては、例えば、発光波長 $1.3\mu\text{m}$ のGaInAsPを用いることができる。

【0037】

そして、コア層302a、302bおよび上部クラッド層303a、303bが順次積層された半導体基板301をエッチング加工することにより、光導波方向に対して垂直に配置された溝304aを形成するとともに、溝304aから所定間隔だけ隔てて配置された段差304bを半導体基板301上に形成する。

そして、クラッド層305a、307aで挟まれたコア層306aを溝304aに埋め込むとともに、クラッド層305b、307bで挟まれたコア層306bを段差304bに埋め込むことにより、光導波路領域R31との界面に配置された溝部A31を形成することが可能となるとともに、溝部A31から半導体板B31を隔てて配置された光導波路領域R32を形成することができる。

【0038】

ここで、コア層306a、306bの材料としては、例えば、BCBを用いることができ、クラッド層305a、307a、305b、307bの材料としては、例えば、コア層306a、306bよりも屈折率が低いポリイミドを用いることができる。

これにより、光導波路領域R31と光導波路領域R32との境界における反射を低減さ

せることを可能としつつ、溝部A31および光導波路領域R32における導波損失を低減させることができる。

【0039】

なお、図1の光導波路領域R21における横方向の導波損失を抑えるために、図1のP1-P1'線で切断した断面構造を図4の断面構造に置き換えるようにしてもよい。

図4は、本発明の第3実施形態に係る集積光導波路の概略構成を光導波方向と直交する方向に沿って示す断面図である。

図4において、半導体基板401上には、コア層402および上部クラッド層403が順次積層されている。そして、上部クラッド層403、コア層402および半導体基板401の上部は、光導波方向に沿ってストライプ状にエッチング加工され、上部クラッド層403、コア層402および半導体基板401の上部の両側には、埋め込み層404a、404bがそれぞれ形成されている。

【0040】

なお、半導体基板401、上部クラッド層403および埋め込み層404a、404bとしては、例えば、InP、コア層402としては、例えば、発光波長 $1.3\mu\text{m}$ のGaInAsPを用いることができる。

これにより、光導波路領域R21と光導波路領域R22との境界における反射を低減させることを可能としつつ、光導波路領域R21における導波損失を低減させることができる。

なお、図1の光導波路領域R22における横方向の導波損失を抑えるために、図1のO1-O1'線で切断した断面構造を図5の断面構造に置き換えるようにしてもよい。

【0041】

図5は、本発明の第4実施形態に係る集積光導波路の概略構成を光導波方向と直交する方向に沿って示す断面図である。

図5において、半導体基板501上には、クラッド層503にて周囲を囲まれたコア層502が形成されている。なお、半導体基板501としては、例えば、InP、コア層502の材料としては、例えば、BCB、クラッド層503の材料としては、例えば、コア層502よりも屈折率が低いポリイミドを用いることができる。

【0042】

これにより、光導波路領域R21と光導波路領域R22との境界における反射を低減させることを可能としつつ、光導波路領域R22における導波損失を低減させることができる。

なお、図2のコア層202a、202bの形状に関しては、特に制約を設けるものではなく、例えば、コア層中央部の屈折率とクラッド層の屈折率との間の屈折率を持つ材料によりサンドイッチされた分離閉じ込めヘテロ構造(SCH)や、屈折率を段階的に変化させた傾斜屈折率(GI-SCH)としてもよい。

【0043】

また、半導体レーザに本構造を適用する場合、コアとして活性領域を用いてもよく、その形状は、バルク、MQW(多重量子井戸)、量子細線、量子ドットを問わず、また活性領域の導波路構造に関しても、pn埋め込み、リッジ構造、半絶縁埋め込み構造、ハイメサ構造等を用いるようにしてもよい。さらに、材料に関しても、InPおよびGaInAsPの組み合わせに限定されることなく、GaAs、AlGaAs、InGaAs、GaInNAsなど任意の材質について適用が可能である。

また、図4の横方向閉じ込めに関しても、特に制約を設けるものではなく、半導体導波路構造として通常用いられているリッジ導波路やハイメサ導波路等を用いるようにしてもよい。

また、図5の光導波路領域R22に関しても、特に制約を設けるものではなく、リッジ導波路やハイメサ導波路等を用いるようにしてもよい。

【0044】

以下、図2の実施形態の動原理作をより詳細に説明する。

図2において、光導波路領域R21および半導体板B21の等価屈折率を3.12、光導波路領域R22および溝部A21の等価屈折率を1.54とすると、(2)式により、各領域の界面で12%程度の反射が生じる。しかし、各領域の界面における全体の反射率は単なる足し合わせではなく、反射波の位相を考慮する必要がある。すなわち、強度が同等でも、位相が反転していれば、光は打ち消し合う。従って、溝部A21の幅および半導体板B21の厚さを調整することにより、各領域の界面における反射波の位相を最適化して、これらの界面における全体の反射率を低減することができる。

【0045】

図6は、図2の集積光導波路の結合部における反射率を溝部A21の幅 d_1 と半導体板B21の厚さ d_2 との関係で示す図である。なお、図6は、光導波路領域R21および半導体板B21の等価屈折率 N_1 を3.12、光導波路領域R22および溝部A21の等価屈折率 N_2 を1.54、として、溝部A21の幅 d_1 と半導体板B21の厚さ d_2 に対する反射率を等高線で示したものである。また、より一般的に話を進めるため、各軸の反対側の軸に光学長を示した。

【0046】

図6において、太い実線は、溝部A21および半導体板B21を形成することなく、光導波路領域R21と光導波路領域R22とを直接接合した場合の反射率(約12%)を示す。すなわち、入射波長を λ とすると、溝部A21もしくは半導体板B21の光学長が $\lambda/2$ の時の直線と、破線で示した $N_1 d_1 + N_2 d_2 = \lambda/4 \times (2l+1)$ の直線(l は整数)に近接した曲線である。

【0047】

これらの太線で囲まれたほぼ三角形の領域では、単なる二導波路の接合よりも反射率が小さくなる。これらの三角形の領域は、近似的に、

$$N_1 d_1 > \lambda/2n, N_2 d_2 > \lambda/2m, N_1 d_1 + N_2 d_2 < \lambda/4(2l+1) \quad \dots (3)$$

(l, m, n は $n+m=1$ の関係を満たす整数)
もしくは、

$$N_1 d_1 < \lambda/2n, N_2 d_2 < \lambda/2m, N_1 d_1 + N_2 d_2 > \lambda/4(2l+1) \quad \dots (4)$$

(l, m, n は $n+m=1-l$ の関係を満たす整数)
の範囲で示すことができる。

【0048】

ここで、原点に最も近い三角形で示したように、この三角形の各辺を $\lambda/64$ だけ三角形の中心寄りにずらした領域cでは、反射率10%以下(単なる二導波路の接合に対して約80%)、同様に $\lambda/32$ だけずらした領域bでは、反射率5%以下(単なる二導波路の接合に対して約40%)、同様に $\lambda/16$ だけずらした領域aでは、反射率1%以下(単なる二導波路の接合に対して約8%)とすることができる。なお、領域dは、単なる二導波路を接合した時の反射率よりも低くなる領域である。

【0049】

すなわち、三角形の各辺を小さくする量を δx とすると、これを表す各辺は、

$$N_1 d_1 > n\lambda/2 \pm \delta x,$$

$$N_2 d_2 > m\lambda/2 \pm \delta x,$$

$$N_1 d_1 + N_2 d_2 = \lambda/4 \times (2l+1) \pm \delta x,$$

となる。これらは、他の三角形の領域でも同様である。

また、無反射を得るには、 m, n を整数として、

$$N_1 d_1 + N_2 d_2 = \pm \lambda / (2\pi) [\cos^{-1} \{ \pm (N_1^2 + N_2^2) / (N_1 + N_2)^2 \} + 2m\pi] \quad \dots (5)$$

$$N_1 d_1 - N_2 d_2 = \lambda / 2n \quad \dots (6)$$

を満たせばよい。これは、各三角形の領域のほぼ中心に相当する。

【0050】

なお、上述した実施形態では、溝部A 2 1に充填する材料を光導波路領域R 2 2の材料と同一とする方法について説明したが、溝部A 2 1に充填する材料と光導波路領域R 2 2の材料とは互いに異なってもよい。また、光導波路領域R 2 1と半導体板B 2 1とは、必ずしも同じ層構造でなくてもよい。

図7は、本発明の第4実施形態に係る集積光導波路の概略構成を示す断面図である。なお、この第4実施形態は、図3の構造を対向配置したものである。

【0051】

図7において、半導体基板701には、光導波路領域R 7 1、溝部A 7 1、半導体板B 7 1、光導波路領域R 7 2、半導体板B 7 2、溝部A 7 2および光導波路領域R 7 3が光導波方向に沿って順次形成されている。

ここで、光導波路領域R 7 1、R 7 3と光導波路領域R 7 2との屈折率は互いに異なるように設定することができ、例えば、光導波路領域R 7 1、R 7 3は半導体材料で構成することができ、光導波路領域R 7 2は半導体以外の材料で構成することができる。

【0052】

また、溝部A 7 1、A 7 2には、半導体以外の材料を充填することができ、例えば、光導波路領域R 7 2の材料と同一の材料を充填することができる。また、半導体板B 7 1、B 7 2は、光導波路領域R 7 1、R 7 3の構造と同一となるように構成することができる。また、溝部A 7 1、A 7 2および半導体板B 7 1、B 7 2は光導波方向を横切るように配置され、好ましくは、溝部A 7 1、A 7 2および半導体板B 7 1、B 7 2は光導波方向に対して垂直に配置することができる。

【0053】

そして、溝部A 7 1の幅および半導体板B 7 1の厚さは、光導波路領域R 7 1と溝部A 7 1との界面で反射した光が、溝部A 7 1と半導体板B 7 1との界面で反射した光および半導体板B 7 1と光導波路領域R 7 2との界面で反射した光によって弱められるように設定することができる。

また、溝部A 7 2の幅および半導体板B 7 2の厚さは、光導波路領域R 7 2と半導体板B 7 2との界面で反射した光が、半導体板B 7 2と溝部A 7 2との界面で反射した光および溝部A 7 2と光導波路領域R 7 3との界面で反射した光によって弱められるように設定することができる。

【0054】

すなわち、半導体基板701上には、コア層702a~702dが積層され、コア層702a~702d上には、上部クラッド層703a~703dがそれぞれ積層されている。なお、半導体基板701および上部クラッド層703a~703dとしては、例えば、InP、コア層702a~702dとしては、例えば、発光波長1.3μmのGaInAsPを用いることができる。

【0055】

そして、コア層702a~702dおよび上部クラッド層703a~703dが順次積層された半導体基板701をエッチング加工することにより、光導波方向に対して垂直に配置された溝704a、704cを形成するとともに、溝704a、704cから所定間隔だけ隔てて配置された凹部704bを半導体基板701上に形成する。

そして、クラッド層705a、707aで挟まれたコア層706aを溝704aに埋め込むとともに、クラッド層705c、707cで挟まれたコア層706cを溝704cに埋め込むことにより、光導波路領域R 7 1、R 7 3との界面にそれぞれ配置された溝部A 7 1、A 7 2を形成することが可能となる。

【0056】

また、クラッド層705b、707bで挟まれたコア層706bを凹部704bに埋め込むことにより、溝部A 7 1、A 7 2から半導体板B 7 1、B 7 2をそれぞれ隔てて配置された光導波路領域R 7 2を形成することができる。

ここで、コア層706a~706cの材料としては、例えば、BCBを用いることがで

き、クラッド層 705a~705c、707a~707c の材料としては、例えば、コア層 706a~706c よりも屈折率が低いポリイミドを用いることができる。

【0057】

これにより、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板 701 上に集積した際の光導波路間の反射を低減することを可能としつつ、半導体とは異なる屈折率を有する材料からなる光導波路を半導体光導波路の途中に集積することができる。このため、導波路設計の自由度を向上させることを可能としつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【0058】

なお、図 7 の実施形態は、図 3 の構造を対向配置したものであるため、図 7 の実施形態の導波路、コア層およびクラッド層の材料や構造は、特に制約を設けるものではなく、ここで説明した以外の材料や構造を用いるようにしてもよい。

また、図 7 の実施形態では、図 3 の構造を 1 組だけ対向配置する方法について説明したが、図 3 の構造を 3 個以上縦列接続するようにしてもよい。ここで、図 3 の構造を用いることにより、個々の光導波路間の反射率を抑制することができ、集積光導波路全体の反射率を抑制することができる。

【0059】

また、上述した集積光導波路の光学長について考えると、半導体の屈折率は温度上昇により増大する、すなわち屈折率の温度微分係数は正であるため、周囲温度が上昇すると、光導波路の光学長が長くなる。

そこで、例えば、図 2 の光導波路領域 R 22 や図 7 の光導波路領域 R 72 を、負の屈折率温度微分係数を有する材料を用いて構成するようにしてもよい。これにより、温度変化により個々の光導波路の光学長が変化した場合においても、光導波路全体の光学長の温度変化を抑制することが可能となる。なお、負の屈折率温度微分係数を有する材料としては、例えば、PMMA を用いることができる。

【0060】

図 8 は、本発明の第 5 実施形態に係る集積光導波路の概略構成を示す断面図である。なお、この第 5 実施形態は、図 7 の構造に半導体レーザを集積化するようにしたものである。

図 8 において、半導体基板 801 には、光導波路領域 R 81、溝部 A 81、半導体板 B 81、光導波路領域 R 82、半導体板 B 82、溝部 A 82 および光導波路領域 R 83 が光導波方向に沿って順次形成され、光導波路領域 R 81 および光導波路領域 R 83 には、レーザダイオードが形成されている。

【0061】

ここで、光導波路領域 R 81、R 83 と光導波路領域 R 82 との屈折率は互いに異なるように設定することができ、例えば、光導波路領域 R 81、R 83 は半導体材料で構成することができ、光導波路領域 R 82 は半導体以外の材料で構成することができる。

また、溝部 A 81、A 82 には、半導体以外の材料を充填することができ、例えば、光導波路領域 R 82 の材料と同一の材料を充填することができる。また、半導体板 B 81、B 82 は、光導波路領域 R 81、R 83 の構造と同一となるように構成することができる。また、溝部 A 81、A 82 および半導体板 B 81、B 82 は光導波方向を横切るように配置され、好ましくは、溝部 A 81、A 82 および半導体板 B 81、B 82 は光導波方向に対して垂直に配置することができる。

【0062】

そして、溝部 A 81 の幅および半導体板 B 81 の厚さは、光導波路領域 R 81 と溝部 A 81 との界面で反射した光が、溝部 A 81 と半導体板 B 81 との界面で反射した光および半導体板 B 81 と光導波路領域 R 82 との界面で反射した光によって弱められるように設定することができる。

また、溝部 A 82 の幅および半導体板 B 82 の厚さは、光導波路領域 R 82 と半導体板 B 82 との界面で反射した光が、半導体板 B 82 と溝部 A 82 との界面で反射した光およ

び溝部A82と光導波路領域R83との界面で反射した光によって弱められるように設定することができる。

【0063】

すなわち、半導体基板801上には、活性層802a、802dおよびコア層802b、802cが積層され、活性層802a、802dおよびコア層802b、802c上には、半導体基板801と異なる導電型の上部クラッド層803a、803d、803b、803cがそれぞれ積層されている。なお、半導体基板801および上部クラッド層803a～803dとしては、例えば、InP、活性層802a、802dおよびコア層802b、802cとしては、例えば、波長1.55 μ mのGaInAsPを用いることができる。また、例えば、半導体基板801をn型とし、上部クラッド層803a～803dをp型とすることができる。

【0064】

そして、活性層802a、802dおよびコア層802c、802c上に上部クラッド層803a～803dが積層された半導体基板801をエッチング加工することにより、光導波方向に対して垂直に配置された溝804a、804cを形成するとともに、溝804a、804cから所定間隔だけ隔てて配置された凹部804bを半導体基板801上に形成する。これにより、光導波路領域R81、R83に対応して活性層802a、802dをそれぞれ配置するとともに、半導体板B81、B82に対応してコア層802b、802cをそれぞれ配置することができる。

【0065】

そして、クラッド層805a、807aで挟まれたコア層806aを溝804aに埋め込むとともに、クラッド層805c、807cで挟まれたコア層806cを溝804cに埋め込むことにより、光導波路領域R81、R83との界面にそれぞれ配置された溝部A81、A82を形成することが可能となる。

また、クラッド層805b、807bで挟まれたコア層806bを凹部804bに埋め込むことにより、溝部A81、A82から半導体板B81、B82をそれぞれ隔てて配置された光導波路領域R82を形成することができる。

【0066】

また、上部クラッド層803a、803d上に電極808a、808bをそれぞれ形成するとともに、半導体基板801の裏面に電極808cを形成することにより、光導波路領域R81および光導波路領域R83にレーザダイオードをそれぞれ形成することができる。

ここで、コア層806a～806cの材料としては、例えば、BCBを用いることができ、クラッド層805a～805c、807a～807cの材料としては、例えば、コア層806a～806cよりも屈折率が低いポリイミドを用いることができる。

【0067】

また、負の屈折率温度微分係数を有する材料を用いて光導波路領域R82を構成するようにしてもよく、例えば、PMMAを用いることができる。これにより、共振器長を温度に対して一定とすることができ、半導体レーザの発振波長の温度依存性を抑制することができる。

なお、活性層802a、802dおよびコア層802b、802cの構造は、例えば、活性層またはコア層中央部の屈折率とクラッド層の屈折率との間の屈折率を持つ材料によりサンドイッチされた分離閉じ込めヘテロ構造(SCH)や、屈折率を段階的に変化させた傾斜屈折率(GI-SCH)としてもよい。

【0068】

また、活性層802a、802dの形状は、バルク、MQW(多重量子井戸)、量子細線、量子ドットを問わず、また活性領域の導波路構造に関しても、pn埋め込み、リッジ構造、埋め込みヘテロ構造、ハイメサ構造等を用いるようにしてもよい。さらに、材料に関しても、InPおよびGaInAsPの組み合わせに限定されることなく、GaAs、AlGaAs、InGaAs、GaInNAsなど任意の材質について適用が可能である。

【0069】

図9は、本発明の第6実施形態に係る集積光導波路の結合部の概略構成を示す斜視図である。なお、この第6実施形態は、溝部A121、A122および半導体板B121、B122を2対設けることにより、光導波路領域R121と光導波路領域R122との境界での反射を低減できる波長範囲を拡大できるようにしたものである。

図9において、半導体基板211には、光導波路領域R121、溝部A121、半導体板B121、溝部A122、半導体板B122および光導波路領域R122が光導波方向に沿って順次形成されている。ここで、光導波路領域R121と光導波路領域R122との屈折率は互いに異なるように設定することができ、例えば、光導波路領域R121は半導体材料で構成することができ、光導波路領域R122は半導体以外の材料で構成することができる。

【0070】

また、溝部A121、A122には、半導体以外の材料を充填することができ、例えば、光導波路領域R122の材料と同一の材料を充填することができる。また、半導体板B121、B122は、光導波路領域R121の構造と同一となるように構成することができる。また、溝部A121、A122および半導体板B121、B122は光導波方向を横切るように配置され、好ましくは、溝部A121、A122および半導体板B121、B122は光導波方向に対して垂直に配置することができる。

【0071】

そして、溝部A121、A122の幅および半導体板B121、B122の厚さは、光導波路領域R121と溝部A121との界面で反射した光が、溝部A121と半導体板B121との界面で反射した光、半導体板B121と溝部A122との界面で反射した光、溝部A122と半導体板B122との界面で反射した光および半導体板B122と光導波路領域R122との界面で反射した光によって弱められるようにそれぞれ設定することができる。

【0072】

これにより、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板211上に集積した場合においても、これらの光導波路間の反射を低減することが可能となり、導波路設計の自由度を維持しつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

また、光導波路領域R121が形成された半導体基板211のエッチング加工を行うことにより、溝部A121、A122および半導体板B121、B122を半導体基板211に形成することができる。このため、光導波路領域R121と光導波路領域R122との界面に反射防止膜を形成することなく、光導波路領域R121と光導波路領域R122との境界における反射を低減させることができ、光導波路の集積化に容易に対応することが可能となる。

【0073】

さらに、溝部A121、A122の幅および半導体板B121、B122の厚さを調整することで、光導波路領域R121と光導波路領域R122との境界での反射を低減できる波長範囲を拡大することが可能となり、波長多重光ネットワークなどへの適用を可能としつつ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

【0074】

図10は、図9の光導波方向に沿ったQ2-Q2'線で切断した切断図である。

図10において、半導体基板211上には、コア層212a~212cが積層され、コア層212a~212c上には、上部クラッド層213a~213cがそれぞれ積層されている。なお、半導体基板211および上部クラッド層213a~213cとしては、例えば、InP、コア層212a~212cとしては、例えば、発光波長1.3μmのGaInAsPを用いることができる。

【0075】

そして、コア層212a～212cおよび上部クラッド層213a～213cが順次積層された半導体基板211をエッチング加工することにより、光導波方向に対して垂直に配置された幅 d_1 の溝214aを形成するとともに、溝214aから所定間隔 d_2 だけ隔てて配置された幅 d_3 の溝214bを形成し、さらに、溝214bから所定間隔 d_4 だけ隔てて配置された段差214cを半導体基板211上に形成する。

【0076】

そして、溝214a、214bに充填材料215a、215bをそれぞれ埋め込むことにより、光導波路領域R121との界面に配置された溝部A121を形成することが可能となるとともに、溝部A121から厚さ d_2 の半導体板B121を隔てて配置された溝部A122を形成することが可能となる。

また、段差214cに光導波路材料215cを埋め込むことにより、溝部A122から厚さ d_4 の半導体板B122を隔てて配置された光導波路領域R122を形成することができる。

【0077】

ここで、充填材料215a、215bおよび光導波路材料215cとしては、半導体とは異なる屈折率を持つ材料を用いることができ、例えば、BCBを挙げることができる。この場合、光導波路領域R121および半導体板B121、B122の等価屈折率は3.12、光導波路領域R122および溝部A121、A122の等価屈折率は1.54とすることができる。

【0078】

これにより、光導波路領域R121と光導波路領域R122との境界における反射を広い波長範囲に渡って低減させることを可能としつつ、屈折率が互いに異なる光導波路領域R121と光導波路領域R122とを同一半導体基板211上に集積することが可能なり、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路を実現することが可能となる。

なお、溝部A121、A122および光導波路領域R122における導波損失は、これらの伝播距離が短い場合は無視できる程小さいが、溝部A121、A122および光導波路領域R122における伝播距離が長くなると、導波損失が無視できなくなる。

【0079】

このため、図9のQ2-Q2'線で切断した図10の断面構造を図11の断面構造に置き換えるようにしてもよい。

図11は、本発明の第7実施形態に係る集積光導波路の結合部の概略構成を光導波方向に沿って示す断面図である。なお、この第7実施形態は、図10の溝部A121、A122および光導波路領域R122にコア層を設けるようにしたものである。

【0080】

図11において、半導体基板311には、光導波路領域R131、溝部A131、半導体板B131、溝部A132、半導体板B132および光導波路領域R132が光導波方向に沿って順次形成されている。

すなわち、半導体基板311上には、コア層312a～312cが積層され、コア層312a～312c上には、上部クラッド層313a～313cがそれぞれ積層されている。なお、半導体基板311および上部クラッド層313a～313cとしては、例えば、InP、コア層312a～312cとしては、例えば、発光波長 $1.3\mu\text{m}$ のGaInAsPを用いることができる。

【0081】

そして、コア層312a～312cおよび上部クラッド層313a～313cが順次積層された半導体基板311をエッチング加工することにより、光導波方向に対して垂直に配置された溝314aを形成するとともに、溝314aから所定間隔だけ隔てて配置された溝314bを形成し、さらに、溝314bから所定間隔だけ隔てて配置された段差314cを半導体基板311上に形成する。

【0082】

そして、クラッド層 315a、317a で挟まれたコア層 316a を溝 314a に埋め込むとともに、クラッド層 315b、317b で挟まれたコア層 316b を溝 314b に埋め込むことにより、光導波路領域 R131 との界面に配置された溝部 A131 を形成することが可能となるとともに、溝部 A131 から半導体板 B131 を隔てて配置された溝部 A132 を形成することが可能となる。

【0083】

また、クラッド層 315c、317c で挟まれたコア層 316c を段差 314c に埋め込むことにより、溝部 A132 から半導体板 B132 を隔てて配置された光導波路領域 R132 を形成することができる。

ここで、コア層 316a ~ 316c の材料としては、例えば、BCB を用いることができる、クラッド層 315a ~ 315c、317a ~ 317c の材料としては、例えば、コア層 316a ~ 316c よりも屈折率が低いポリイミドを用いることができる。

【0084】

これにより、光導波路領域 R131 と光導波路領域 R132 との境界における反射を低減させることを可能としつつ、溝部 A131、A132 および光導波路領域 R132 における導波損失を低減させることができる。

なお、図 9 の光導波路領域 R121 における横方向の導波損失を抑えるために、図 9 の P2-P2' 線で切断した断面構造を図 4 の断面構造に置き換えるようにしてもよい。また、図 9 の光導波路領域 R122 における横方向の導波損失を抑えるために、図 9 の O2-O2' 線で切断した断面構造を図 5 の断面構造に置き換えるようにしてもよい。

【0085】

また、図 10 のコア層 212a、212b の形状に関しては、特に制約を設けるものではなく、例えば、コア層中央部の屈折率とクラッド層の屈折率との間の屈折率を持つ材料によりサンドイッチされた分離閉じ込めヘテロ構造 (SCH) や、屈折率を段階的に変化した傾斜屈折率 (GIR) SCH としてもよい。

また、半導体レーザに本構造を適用する場合、コアとして活性領域を用いてもよく、その形状は、バルク、MQW (多重量子井戸)、量子細線、量子ドットを問わず、また活性領域の導波路構造に関しても、pn 埋め込み、リッジ構造、半絶縁埋め込み構造、ハイメサ構造等を用いるようにしてもよい。さらに、材料に関しても、InP および GaInAsP の組み合わせに限定されることなく、GaAs、AlGaAs、InGaAs、GaInNAs など任意の材質について適用が可能である。

【0086】

なお、図 10 の光導波路領域 R121 および半導体板 B121、B122 の等価屈折率 N_1 を 3.12、光導波路領域 R122 および溝部 A121、A122 の等価屈折率 N_2 を 1.54 とすると、光導波路領域 R121、溝部 A121、半導体板 B121 および溝部 A122 で構成される光導波路では、溝部 A121 の幅 d_1 と半導体板 B121 の厚さ d_2 に対する反射率は図 6 と同様になる。

【0087】

このため、光導波路領域 R121、溝部 A121、半導体板 B121 および溝部 A122 で構成される光導波路の反射率を低減させるためには、(3) 式または (4) 式の関係を満たすように、溝部 A121 の幅 d_1 と半導体板 B121 の厚さ d_2 を設定すればよい。

また、光導波路領域 R121、溝部 A121、半導体板 B121 および溝部 A122 で構成される光導波路の反射率を 0 にするためには、(5) 式または (6) 式の関係を満たすように、溝部 A121 の幅 d_1 と半導体板 B121 の厚さ d_2 を設定すればよい。

【0088】

また、ある波長 λ について図 10 の光導波路全体での反射を 0 にするためには、図 10 の全体構成を溝部 A122 で分割し、光導波路領域 R121、溝部 A121、半導体板 B121 および溝部 A122 で構成される光導波路と、溝部 A122、半導体板 B122 および光導波路領域 R122 で構成される光導波路とを想定すると、これら双方の光導波路の反射率を 0 とする必要がある。

【0089】

このため、光導波路領域 R121、溝部 A121、半導体板 B121 および溝部 A122 で構成される光導波路の反射率を 0 にした上で、溝部 A122、半導体板 B122 および光導波路領域 R122 で構成される光導波路の反射率を 0 とする必要がある。

ここで、溝部 A122、半導体板 B122 および光導波路領域 R122 で構成される光導波路の反射率を 0 とする条件は、以下の (7) 式で与えることができる。

$$N_2 d_4 = \lambda / 2n \quad \dots (7)$$

(n は整数)

【0090】

図 12 は、図 10 の溝部 A122、半導体板 B122 および光導波路領域 R122 で構成される光導波路の反射率と半導体板 B122 の厚さ d_4 との関係を示す図である。なお、入射波長は $1.55 \mu\text{m}$ とした。

図 12 において、溝部 A122、半導体板 B122 および光導波路領域 R122 で構成される光導波路の反射率は、斜線で示した領域では、単なる二導波路の接合 (約 12%) よりも小さくなる。そして、溝部 A122、半導体板 B122 および光導波路領域 R122 で構成される光導波路の反射率を単なる二導波路の接合よりも小さくする条件は、以下の (8) 式で与えることができる。

$$\lambda / 2n - \lambda / 16 < N_2 d_4 < \lambda / 2n + \lambda / 16 \quad \dots (8)$$

(n は整数)

【0091】

ここで、図 10 の全体の光導波路は、光導波路領域 R121、溝部 A121、半導体板 B121 および溝部 A122 で構成される左側光導波路と、溝部 A122、半導体板 B122 および光導波路領域 R122 で構成される右側光導波路とを接続したものであり、左側光導波路の後端と右側光導波路の前端とは同じ屈折率であるから、この部分では反射は生じない。このため、分割前の光導波路全体を考えると、入射波長 λ の時、光導波路領域 R121 と光導波路領域 R122 との結合部での反射を 0 とすることができる。これは、溝部 A122 の幅 d_3 には依存しない。

【0092】

図 13 は、図 9 の溝部 A122 の幅 d_3 と入射波長に対する反射率との関係を示す図である。なお、図 13 では、 $N_1 = 1.54$ 、 $N_2 = 3.21$ とし入射波長 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ とした時に反射率が 0 となる条件を満たすように、 $d_1 = 1.08 \mu\text{m}$ 、 $d_2 = 1.00 \mu\text{m}$ 、 $d_4 = 0.966 \mu\text{m}$ とした。また、より一般的に話を進めるために光学長も示した。

【0093】

図 13 において、領域 d は光導波路領域 R121 と光導波路領域 R122 とを単に接合した時の反射率 (約 12%) よりも低くなる領域、領域 c は反射率 10% 以下の領域、領域 b は反射率 5% 以下の領域、領域 a は反射率 1% 以下の領域である。

すなわち、溝部 A122 の幅 d_3 を変えることにより、低反射率が得られる領域を変化させることができる。例えば、領域 d の波長幅を広げるには、

$$\lambda / 2(n+1/4) < N_1 d_3 < \lambda / 2(n+1)$$

(n は整数)

とすればよい。また、領域 a の波長幅を広げるには、

$$\lambda / 2(m+3/8) < N_1 d_3 < \lambda / 2(m+3/4)$$

(m は整数)

とすればよい。

【0094】

なお、上述した実施形態では、溝部 A121、A122 に充填する材料を光導波路領域 R122 の材料と同一とする方法について説明したが、溝部 A121、A122 に充填する材料と光導波路領域 R122 の材料とは互いに異なってもよい。また、光導波路領域 R121 と半導体板 B121、B122 とは、必ずしも同じ層構造でなくてもよい。

図14は、本発明の第8実施形態に係る集積光導波路の概略構成を示す断面図である。なお、この第8実施形態は、溝部A141～A144および半導体板B141～B144を交互に繰り返し配置することにより、低反射となる波長帯を急峻化できるようにしたものである。

【0095】

図14において、半導体基板411には、光導波路領域R141および光導波路領域R142が光導波方向に沿って形成されるとともに、光導波路領域R141と光導波路領域R142との間には、溝部A141～A144および半導体板B141～B144が光導波方向に沿って交互に配置されている。

ここで、光導波路領域R141と光導波路領域R142との屈折率は互いに異なるように設定することができ、例えば、光導波路領域R141は半導体材料で構成することができ、光導波路領域R142は半導体以外の材料で構成することができる。

【0096】

また、溝部A141～A144には、半導体以外の材料を充填することができ、例えば、光導波路領域R142の材料と同一の材料を充填することができる。また、半導体板B141～B144は、光導波路領域R141の構造と同一となるように構成することができる。また、溝部A141～A144および半導体板B141～B144は光導波方向を横切るように配置され、好ましくは、溝部A141～A144および半導体板B141～B144は光導波方向に対して垂直に配置することができる。

【0097】

そして、溝部A141の幅および半導体板B141の厚さは、光導波路領域R14、溝部A141、半導体板B141および溝部A142で構成される光導波路における反射率が弱められるように設定することができる。

また、溝部A142の幅および半導体板B142の厚さは、溝部A142、半導体板B142および溝部A143で構成される光導波路が無反射率条件を満たすように設定することができる。

【0098】

さらに、溝部A143、A144の幅および半導体板B143、B144の厚さは、溝部A142の幅および半導体板B142の厚さとそれぞれ同一となるように設定することができる。

ここで、溝部A142、半導体板B142および溝部A143で構成される光導波路が無反射率条件を満たすように溝部A142の幅および半導体板B142の厚さを設定するとともに、溝部A142の幅および半導体板B142の厚さとそれぞれ同一となるように溝部A143、A144の幅および半導体板B143、B144の厚さを設定することにより、溝部A141～A144および半導体板B141～B144を交互に繰り返し配置した場合においても、入射波長 λ における反射率を一定に保つことができる。

【0099】

すなわち、半導体基板411上には、コア層412a～412eが積層され、コア層412a～412e上には、上部クラッド層413a～413eがそれぞれ積層されている。なお、半導体基板411および上部クラッド層413a～413eとしては、例えば、InP、コア層412a～412eとしては、例えば、発光波長 $1.3\mu\text{m}$ のGaInAsPを用いることができる。

【0100】

そして、コア層412a～412eおよび上部クラッド層413a～413eが順次積層された半導体基板411をエッチング加工することにより、光導波方向に対して垂直に配置された溝414a～414dを形成するとともに、溝414dから所定間隔だけ隔てて配置された段差414eを半導体基板411上に形成する。

そして、溝414a～414dに充填材料415a～415dをそれぞれ埋め込むとともに、段差414eに光導波路材料415eを埋め込むことにより、光導波方向に沿って交互に配置された溝部A141～A144および半導体板B141～B144を光導波路

領域 R141 と光導波路領域 R142 との間に形成することが可能となるとともに、溝部 A144 から半導体板 B144 を隔てて配置された光導波路領域 R142 を半導体基板 411 に形成することができる。

【0101】

これにより、溝 414a~414d を形成するためのエッチング加工を半導体基板 411 に行うことにより、低反射となる波長帯を急峻化することが可能となり、半導体光導波路と半導体以外の光導波路とを同一半導体基板 411 上に集積した場合においても、これらの光導波路間にける特定の波長の反射を効率よく低減することが可能となる。

なお、上述した実施形態では、溝部 A141~A144 および半導体板 B141~B144 を 4 回繰り返し配置する方法について説明したが、溝部および半導体板を 3 回または 5 回以上繰り返し配置してもよい。

【0102】

図 15 は、本発明の第 9 実施形態に係る集積光導波路の概略構成を示す断面図である。なお、この第 9 実施形態は、図 10 の構造を対向配置したものである。

図 15 において、半導体基板 511 には、光導波路領域 R151、溝部 A151、半導体板 B151、溝部 A152、半導体板 B152、光導波路領域 R152、半導体板 B153、溝部 A153、半導体板 B154、溝部 A154 および光導波路領域 R153 が光導波方向に沿って順次形成されている。

【0103】

ここで、光導波路領域 R151、R153 と光導波路領域 R152 との屈折率は互いに異なるように設定することができ、例えば、光導波路領域 R151、R153 は半導体材料で構成することができ、光導波路領域 R152 は半導体以外の材料で構成することができる。

また、溝部 A151~A154 には、半導体以外の材料を充填することができ、例えば、光導波路領域 R152 の材料と同一の材料を充填することができる。また、半導体板 B151~B154 は、光導波路領域 R151、R153 の構造と同一となるように構成することができる。また、溝部 A151~A154 および半導体板 B151~B154 は光導波方向を横切るように配置され、好ましくは、溝部 A151~A154 および半導体板 B151~B154 は光導波方向に対して垂直に配置することができる。

【0104】

そして、溝部 A151 の幅および半導体板 B151 の厚さは、光導波路領域 R151 と溝部 A151 との界面で反射した光が、溝部 A151 と半導体板 B151 との界面で反射した光、半導体板 B151 と溝部 A152 との界面で反射した光、溝部 A152 と半導体板 B152 との界面で反射した光および半導体板 B152 と光導波路領域 R152 との界面で反射した光によって弱められるようにそれぞれ設定することができる。

【0105】

また、溝部 A154 の幅および半導体板 B154 の厚さは、光導波路領域 R153 と溝部 A154 との界面で反射した光が、溝部 A154 と半導体板 B154 との界面で反射した光、半導体板 B154 と溝部 A153 との界面で反射した光、溝部 A153 と半導体板 B153 との界面で反射した光および半導体板 B153 と光導波路領域 R152 との界面で反射した光によって弱められるようにそれぞれ設定することができる。

【0106】

すなわち、半導体基板 511 上には、コア層 512a~512f が積層され、コア層 512a~512f 上には、上部クラッド層 513a~513f がそれぞれ積層されている。なお、半導体基板 511 および上部クラッド層 513a~513f としては、例えば、InP、コア層 512a~512f としては、例えば、発光波長 1.3 μm の GaInAsP を用いることができる。

【0107】

そして、コア層 512a~512f および上部クラッド層 513a~513f が順次積層された半導体基板 511 をエッチング加工することにより、光導波方向に対して垂直に

配置された溝514a、514b、514d、514eを形成するとともに、溝514b、514dから所定間隔だけ隔てて配置された凹部514cを半導体基板511上に形成する。

【0108】

そして、クラッド層515a、517aで挟まれたコア層516aを溝514aに埋め込むとともに、クラッド層515b、517bで挟まれたコア層516bを溝514bに埋め込むことにより、光導波路領域R151と光導波路領域R152との間に配置された溝部A151、A152を形成することが可能となる。

また、クラッド層515d、517dで挟まれたコア層516dを溝514dに埋め込むとともに、クラッド層515e、517eで挟まれたコア層516eを溝514eに埋め込むことにより、光導波路領域R152と光導波路領域R153との間に配置された溝部A153、A154を形成することが可能となる。

【0109】

さらに、クラッド層515c、517cで挟まれたコア層516cを凹部514cに埋め込むことにより、溝部A152、A154から半導体板B152、B154をそれぞれ隔てて配置された光導波路領域R152を形成することができる。

ここで、コア層516a～516eの材料としては、例えば、BCBを用いることができ、クラッド層515a～515e、517a～517eの材料としては、例えば、コア層516a～516eよりも屈折率が低いポリイミドを用いることができる。

【0110】

なお、図15の実施形態は、図11の構造を対向配置したものであるため、図15の実施形態の導波路、コア層およびクラッド層の材料や構造は、特に制約を設けるものではなく、ここで説明した以外の材料や構造を用いるようにしてもよい。

また、図15の実施形態では、図11の構造を1組だけ対向配置する方法について説明したが、図11の構造を3個以上縦列接続するようにしてもよい。ここで、図11の構造を用いることにより、個々の光導波路間の反射率を抑制することができ、集積光導波路全体の反射率を抑制することができる。

【0111】

また、上述した集積光導波路の光学長について考えると、半導体の屈折率は温度上昇により増大する、すなわち屈折率の温度微分係数は正であるため、周囲温度が上昇すると、光導波路の光学長が長くなる。

そこで、例えば、図10の光導波路領域R122や図15の光導波路領域R152を、負の屈折率温度微分係数を有する材料を用いて構成するようにしてもよい。これにより、温度変化により個々の光導波路の光学長が変化した場合においても、光導波路全体の光学長の温度変化を抑制することが可能となる。なお、負の屈折率温度微分係数を有する材料としては、例えば、PMMAを用いることができる。

【0112】

図16は、本発明の第10実施形態に係る集積光導波路の概略構成を示す断面図である。なお、この第10実施形態は、図15の構造に半導体レーザを集積化するようにしたものである。

図16において、半導体基板611には、光導波路領域R161、溝部A161、半導体板B161、溝部A162、半導体板B162、光導波路領域R162、半導体板B163、溝部A163、半導体板B164、溝部A164および光導波路領域R163が光導波方向に沿って順次形成され、光導波路領域R161および光導波路領域R163には、レーザダイオードが形成されている。

【0113】

ここで、光導波路領域R161、R163と光導波路領域R162との屈折率は互いに異なるように設定することができ、例えば、光導波路領域R161、R163は半導体材料で構成することができ、光導波路領域R162は半導体以外の材料で構成することができる。

また、溝部A161～A164には、半導体以外の材料を充填することができ、例えば、光導波路領域R162の材料と同一の材料を充填することができる。また、半導体板B161～B164は、光導波路領域R161、R163の構造と同一となるように構成することができる。また、溝部A161～A164および半導体板B161～B164は光導波方向を横切るように配置され、好ましくは、溝部A161～A164および半導体板B161～B164は光導波方向に対して垂直に配置することができる。

【0114】

そして、溝部A161の幅および半導体板B161の厚さは、光導波路領域R161と溝部A161との界面で反射した光が、溝部A161と半導体板B161との界面で反射した光、半導体板B161と溝部A162との界面で反射した光、溝部A162と半導体板B162との界面で反射した光および半導体板B162と光導波路領域R162との界面で反射した光によって弱められるようにそれぞれ設定することができる。

【0115】

また、溝部A164の幅および半導体板B164の厚さは、光導波路領域R163と溝部A164との界面で反射した光が、溝部A164と半導体板B164との界面で反射した光、半導体板B164と溝部A163との界面で反射した光、溝部A163と半導体板B163との界面で反射した光および半導体板B163と光導波路領域R162との界面で反射した光によって弱められるようにそれぞれ設定することができる。

【0116】

すなわち、半導体基板611上には、活性層612a、612fおよびコア層612b～612eが積層され、活性層612a、612fおよびコア層612b～612e上には、半導体基板611と異なる導電型の上部クラッド層613a、613f、613b～613eがそれぞれ積層されている。なお、半導体基板611および上部クラッド層613a～613fとしては、例えば、InP、活性層612a、612fおよびコア層612b～612eとしては、例えば、波長1.55 μ mのGaInAsPを用いることができる。また、例えば、半導体基板611をn型とし、上部クラッド層613a～613fをp型とすることができる。

【0117】

そして、活性層612a、612fおよびコア層612c～612e上に上部クラッド層613a～613fが積層された半導体基板611をエッチング加工することにより、光導波方向に対して垂直に配置された溝614a、614b、614d、614eを形成するとともに、溝614ba、614dから所定間隔だけ隔てて配置された凹部614cを半導体基板611上に形成する。これにより、光導波路領域R161、R163に対応して活性層612a、612fをそれぞれ配置するとともに、半導体板B161～B164に対応してコア層612b～612eをそれぞれ配置することができる。

【0118】

そして、クラッド層615a、617aで挟まれたコア層616aを溝614aに埋め込むとともに、クラッド層615b、617bで挟まれたコア層616bを溝614bに埋め込むことにより、光導波路領域R161と光導波路領域R162との間に配置された溝部A161、A162を形成することが可能となる。

また、クラッド層615d、617dで挟まれたコア層616dを溝614dに埋め込むとともに、クラッド層615e、617eで挟まれたコア層616eを溝614eに埋め込むことにより、光導波路領域R162と光導波路領域R163との間に配置された溝部A163、A164を形成することが可能となる。

【0119】

さらに、クラッド層615c、617cで挟まれたコア層616cを凹部614cに埋め込むことにより、溝部A162、A164から半導体板B162、B164をそれぞれ隔てて配置された光導波路領域R162を形成することができる。

また、上部クラッド層613a、613f上に電極618a、618bをそれぞれ形成するとともに、半導体基板611の裏面に電極618cを形成することにより、光導波路

領域 R 1 6 1 および光導波路領域 R 1 6 3 にレーザダイオードをそれぞれ形成することができる。

【0120】

ここで、コア層 6 1 6 a ~ 6 1 6 e の材料としては、例えば、BCBを用いることができる、クラッド層 6 1 5 a ~ 6 1 5 e、6 1 7 a ~ 6 1 7 e の材料としては、例えば、コア層 6 1 6 a ~ 6 1 6 e よりも屈折率が低いポリイミドを用いることができる。

また、負の屈折率温度微分係数を有する材料を用いて光導波路領域 R 1 6 2 を構成するようにしてもよく、例えば、PMMAを用いることができる。これにより、共振器長を温度に対して一定とすることができ、半導体レーザの発振波長の温度依存性を抑制することができる。

【0121】

なお、活性層 6 1 2 a、6 1 2 f およびコア層 6 1 2 b ~ 6 1 2 e の構造は、例えば、活性層またはコア層中央部の屈折率とクラッド層の屈折率との間の屈折率を持つ材料によりサンドイッチされた分離閉じ込めヘテロ構造 (SCH) や、屈折率を段階的に変化させた傾斜屈折率 (GIR) SCHとしてもよい。

また、活性層 6 1 2 a、6 1 2 f の形状は、バルク、MQW (多重量子井戸)、量子細線、量子ドットを問わず、また活性領域の導波路構造に関しても、pn埋め込み、リッジ構造、埋め込みヘテロ構造、ハイメサ構造等を用いるようにしてもよい。さらに、材料に関しても、InPおよびGaInAsPの組み合わせに限定されることなく、GaAs、AlGaAs、InGaAs、GaInNAsなど任意の材質について適用が可能である。

【産業上の利用可能性】

【0122】

本発明の集積光導波路は、半導体レーザやその他の光半導体素子、あるいはこれらの集積構造に利用することができ、半導体のみでは得られない新しい特性を有する光導波路や光半導体素子を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0123】

【図1】 本発明の第1実施形態に係る集積光導波路の結合部の概略構成を示す斜視図である。

【図2】 図1の光導波方向に沿ったQ1-Q1'線で切断した断面図である。

【図3】 本発明の第2実施形態に係る集積光導波路の結合部の概略構成を光導波方向に沿って示す断面図である。

【図4】 本発明の第3実施形態に係る集積光導波路の概略構成を光導波方向と直交する方向に沿って示す断面図である。

【図5】 本発明の第4実施形態に係る集積光導波路の概略構成を光導波方向と直交する方向に沿って示す断面図である。

【図6】 図2の集積光導波路の結合部における反射率を溝部A21の幅d1と半導体板B21の厚さd2との関係で示す図である。

【図7】 本発明の第4実施形態に係る集積光導波路の概略構成を示す断面図である。

【図8】 本発明の第5実施形態に係る集積光導波路の概略構成を示す断面図である。

【図9】 本発明の第6実施形態に係る集積光導波路の結合部の概略構成を示す斜視図である。

【図10】 図9の光導波方向に沿ったQ2-Q2'線で切断した切断図である。

【図11】 本発明の第7実施形態に係る集積光導波路の結合部の概略構成を光導波方向に沿って示す断面図である。

【図12】 図9の領域A122、B122、R122で構成される光導波路の反射率と半導体板B122の厚さd4との関係を示す図である。

【図13】 図9の溝部A122の幅d3と入射波長に対する反射率との関係を示す図である。

【図14】本発明の第8実施形態に係る集積光導波路の概略構成を示す断面図である。

【図15】本発明の第9実施形態に係る集積光導波路の概略構成を示す断面図である。

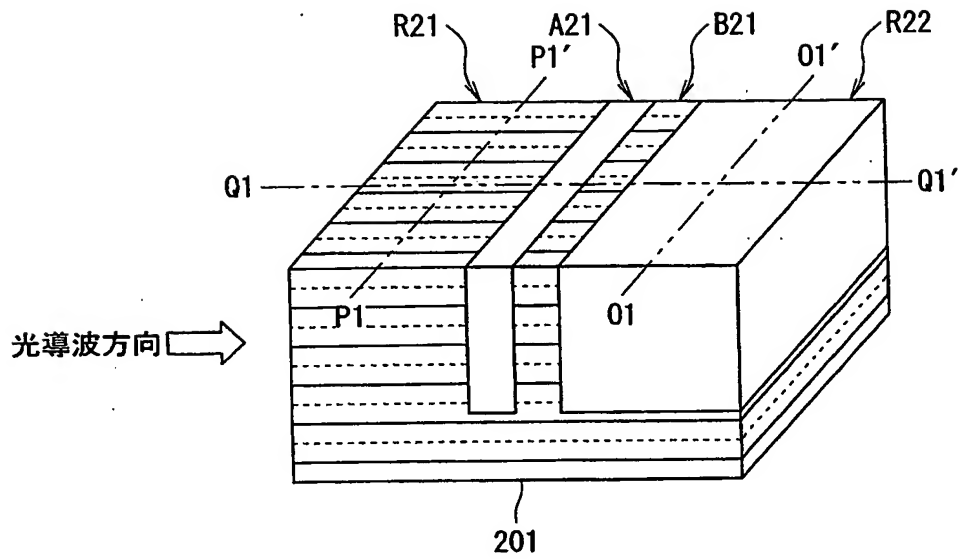
【図16】本発明の第10実施形態に係る集積光導波路の概略構成を示す断面図である。

【符号の説明】

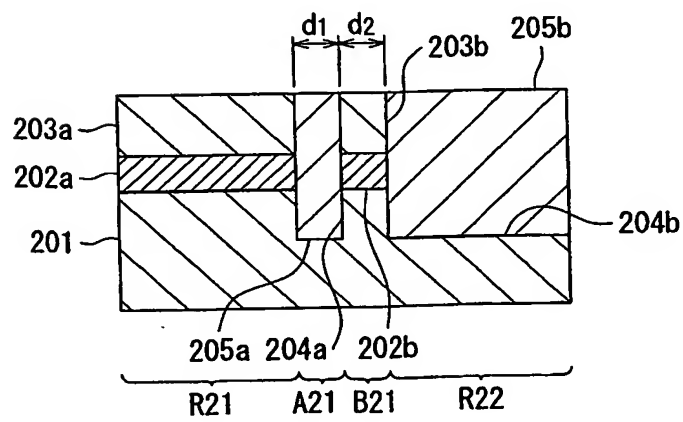
【0124】

R21、R22、R31、R32、R121、R122、R131、R132、R141、R142、R151～R153、R161～R163 光導波路領域
A21、A31、A121、A122、A131、A132、A141～A144、A151～A154、A161～A164 溝部
B21、B31、B121、B122、B131、B132、B141～B144、B151～B154、B161～B164 半導体板
201、301、401、501、701、801、211、311、411、511、611 半導体基板
202a、202b、302a、302b、306a、306b、402、502、702a、702b、702c、702d、706a、706b、706c、706d、802b、802c、806a、806b、806c、806d、212a、212b、212c、312a、312b、312c、316a、316b、316c、412a～412e、512a～512e、516a～516e、612b～612e、616a～616e コア層
203a、203b、303a、303b、403、703a、703b、703c、703d、803a、803b、803c、803d、213a、213b、213c、313a、313b、313c、413a～413e、513a～513f、613a～613f 上部クラッド層
204a、304a、704a、704c、804a、804c、214a、214b、314a、314b、414a～414d、514a、514b、514d、514e、614a、614b、614d、614e 溝
204b、304b、214c、314c、414e 段差
205a、215a、215b、415a～415d 充填材料
205b、215c、415e 光導波路材料
305a、307a、305b、307b、503、705a、707a、705b、707b、705c、707c、805a、807a、805b、807b、805c、807c、315a、317a、315b、317b、315c、317c、515a、517a、515b、517b、515c、517c、515d、517d、515e、517e、615a、617a、615b、617b、615c、617c、615d、617d、615e、617e クラッド層
404a、404b 埋め込み層
704b、804b、514c、614c 凹部
802a、802d、612a、612f 活性層
808a、808b、808c、618a、618b、618c 電極
a 反射率1%以下の領域
b 反射率5%以下の領域
c 反射率10%以下の領域
d 直接結合より反射率が低い領域

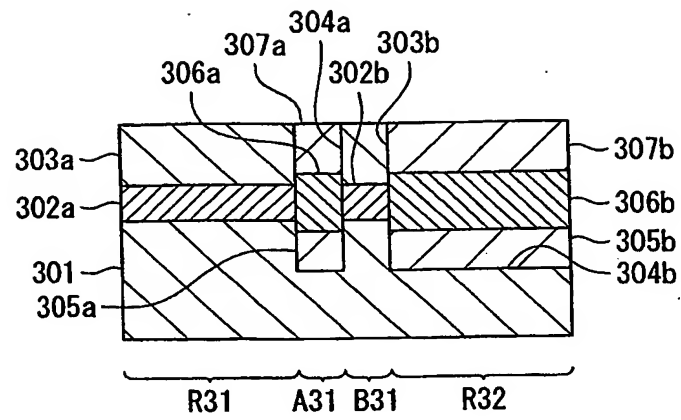
【書類名】 図面
【図 1】



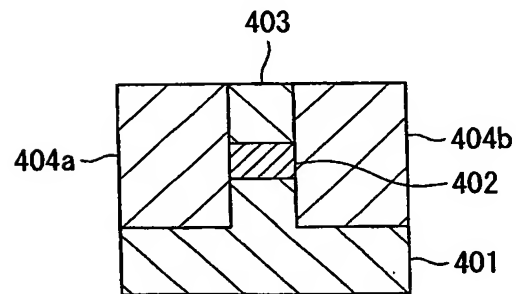
【図 2】



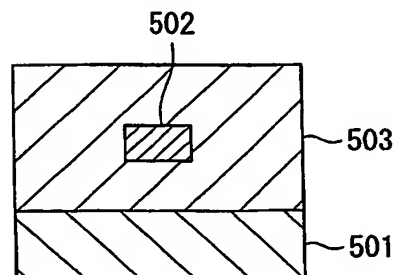
【図 3】



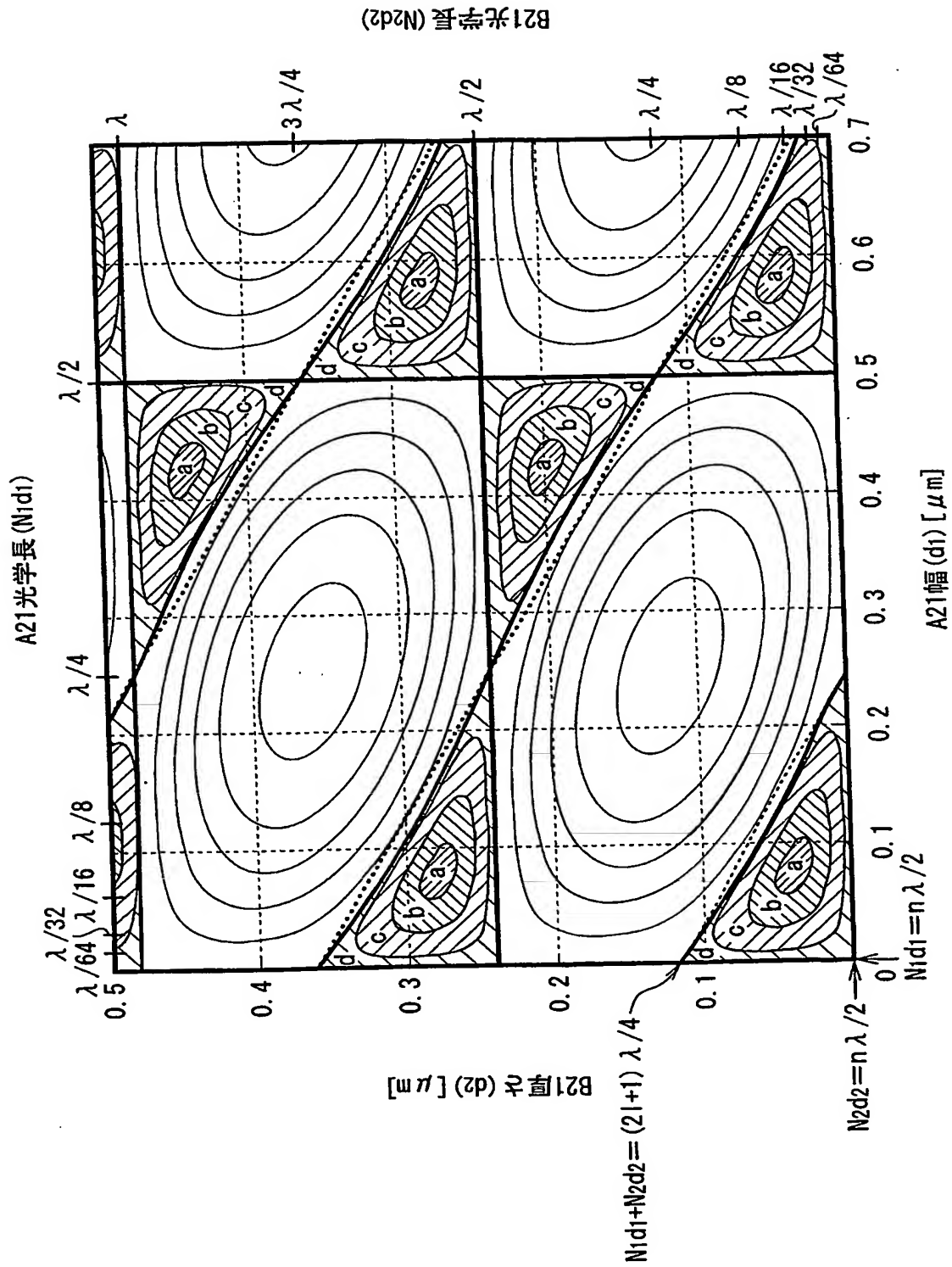
【図 4】



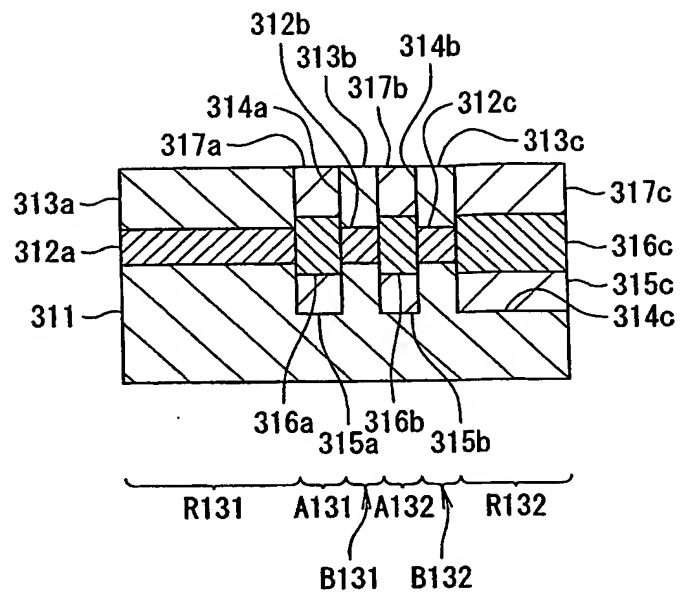
【図 5】



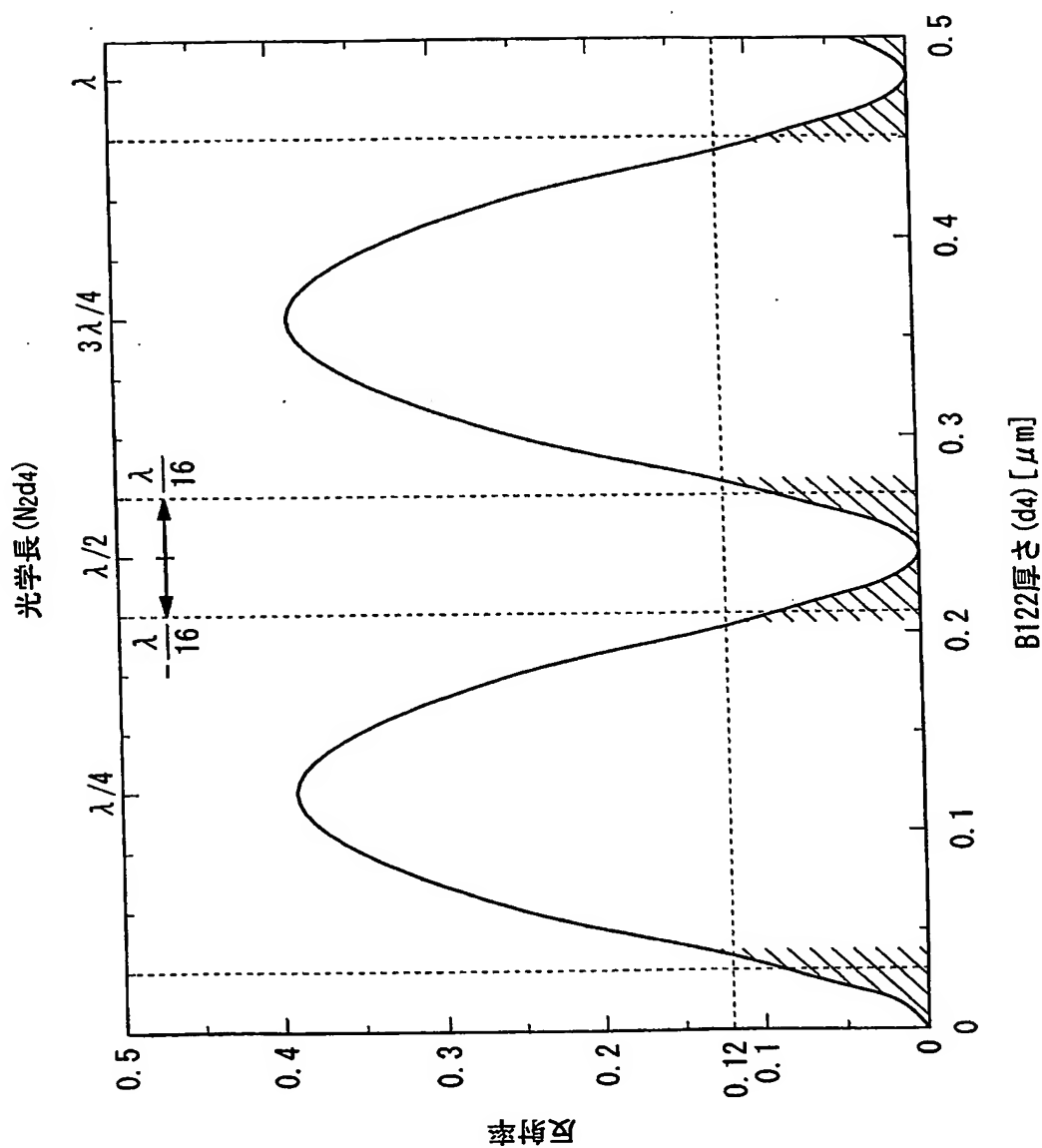
【図 6】



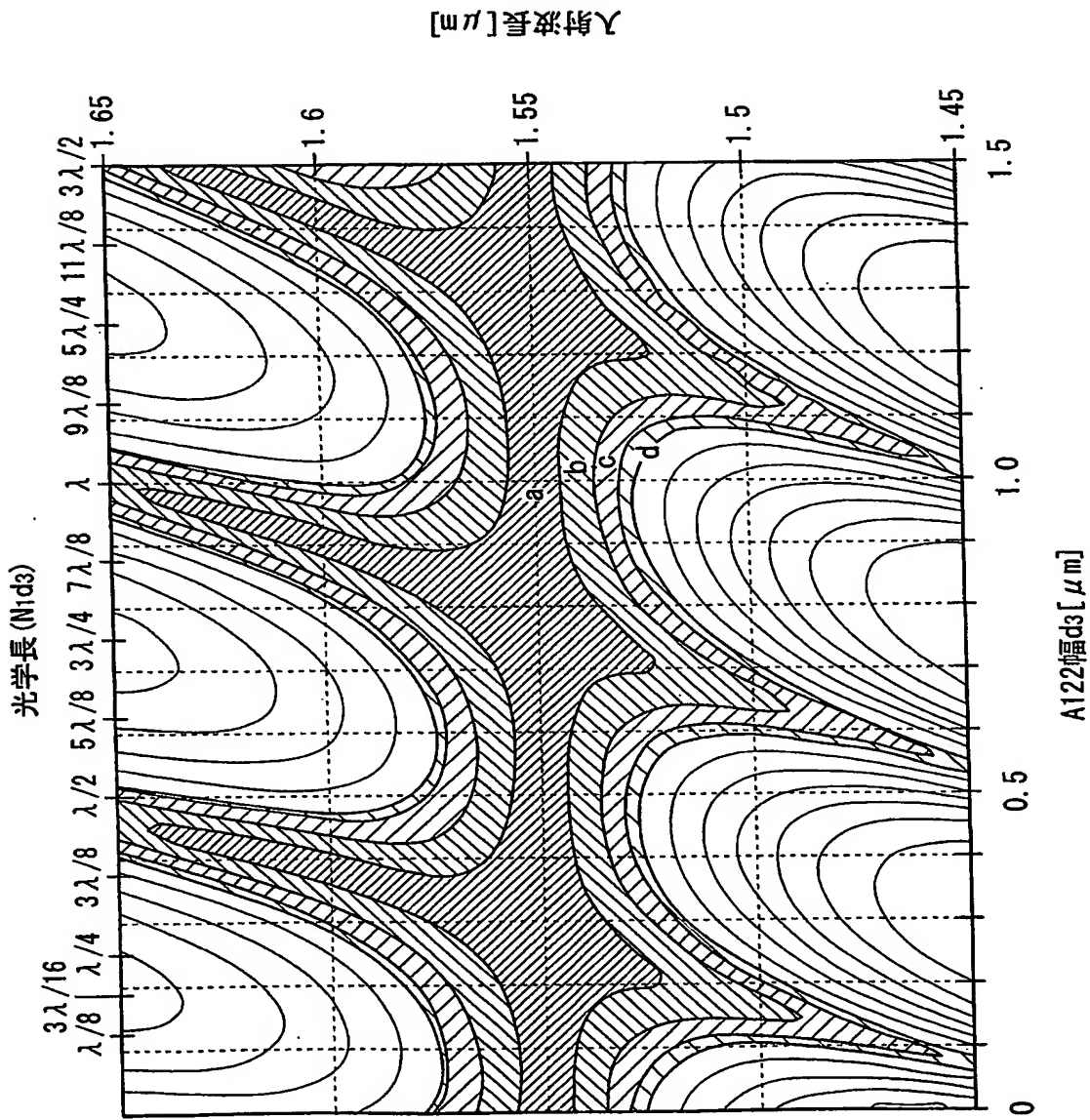
【図 11】



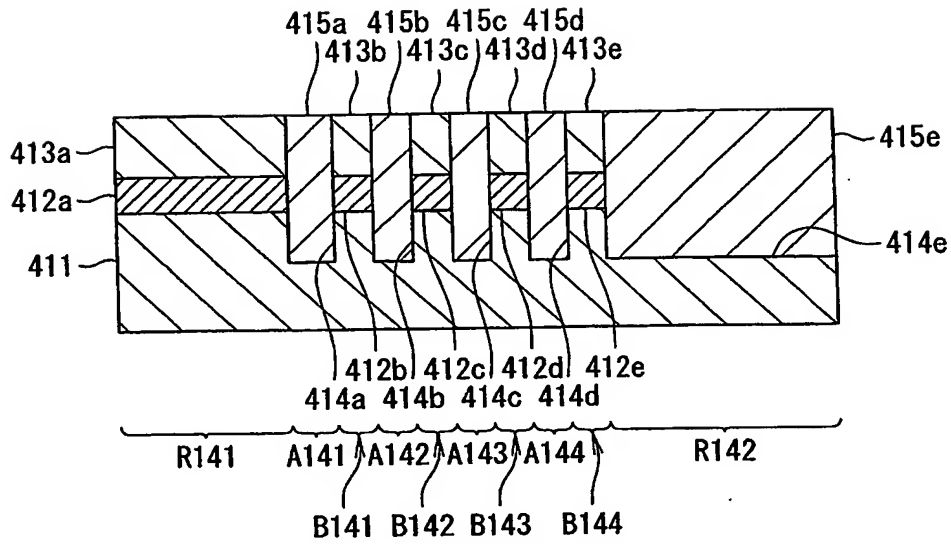
【図12】



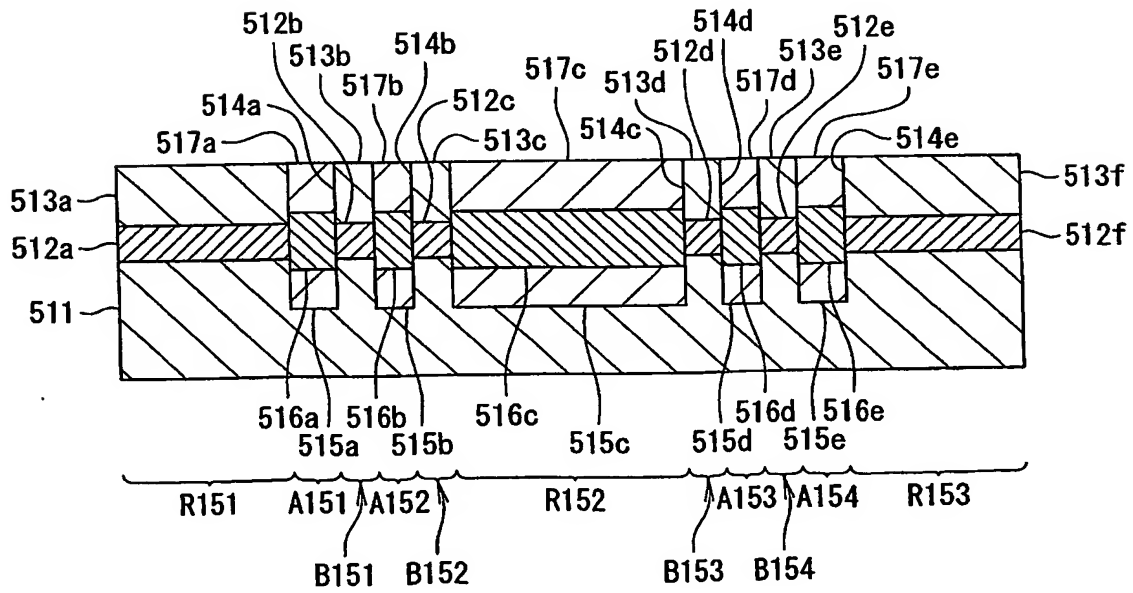
【図 13】



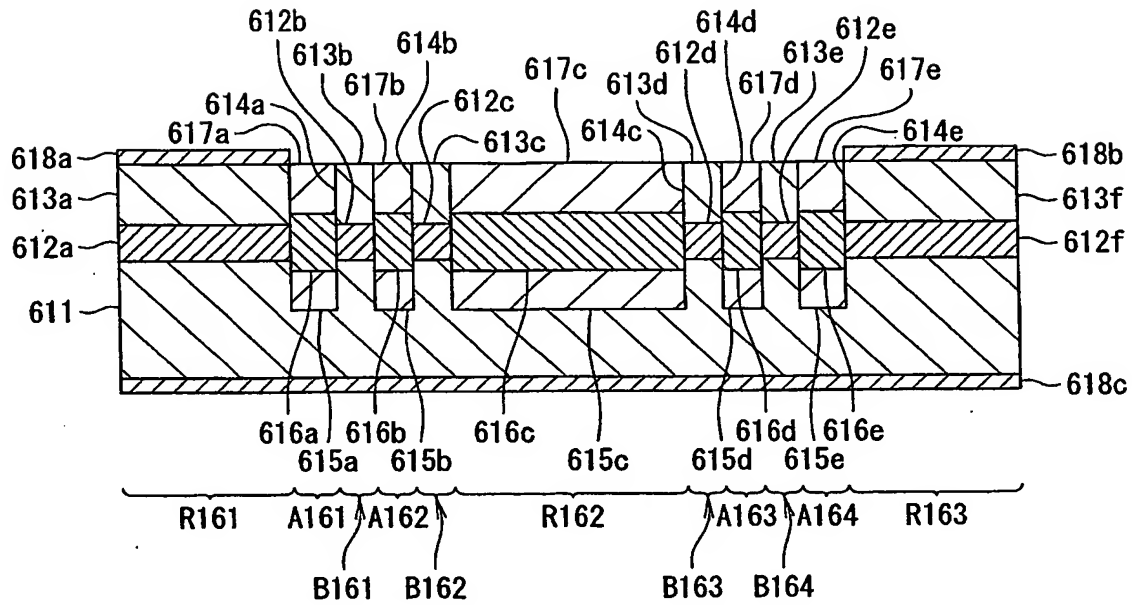
【図14】



【図15】



【図 16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光導波路の集積化に対応しつつ、異なる屈折率の材料が接合された界面における反射を低減する。

【解決手段】 光導波路領域 R 2 1、溝部 A 2 1、半導体板 B 2 1 および光導波路領域 R 2 2 を光導波方向に沿って半導体基板 2 0 1 に順次形成し、溝部 A 2 1 の幅および半導体板 B 2 1 の厚さは、光導波路領域 R 2 1 と溝部 A 2 1 との界面で反射した光が、溝部 A 2 1 と半導体板 B 2 1 との界面で反射した光および半導体板 B 2 1 と光導波路領域 R 2 2 との界面で反射した光によって弱められるように設定する。

【選択図】 図 1

特願 2003-400156

出願人履歴情報

識別番号

[000004226]

1. 変更年月日
[変更理由]

住所
氏名

1999年 7月15日

住所変更

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

日本電信電話株式会社